

Studi Biofisik pada Lanskap Hutan Rawa Gambut di Taman Nasional Sebangau: Kasus di Resort Mangkok

(The Study on Biophysical Peatland Landscape in Sebangau National Park: Case in Mangkok Resort)

Muhammad Abdul Qirom^{1*}, Wawan Halwany¹, Dony Rahmanadi¹, Agustinus Panusunan Tampubolon²

(Diterima Agustus 2018/Disetujui Mei 2019)

ABSTRAK

Kebakaran dan penebangan liar merupakan penyebab utama degradasi Hutan Rawa Gambut (HRG). Degradasi tersebut telah menyebabkan perubahan kondisi biotik dan abiotik HRG. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran komposisi jenis, simpanan karbon, faktor fisik tanah, dan makrofauna tanah yang menjadi indikator perubahan kondisi lahan akibat kerusakan HRG. Penelitian ini dilakukan pada areal HRG yang terdegradasi akibat kebakaran dan penebangan liar. Lokasi plot pengamatan didasarkan pada jarak dari sungai, yakni <1,5; <4; dan <10 km. Parameter pengamatan meliputi komposisi jenis penyusun tegakan dan indeks-indeks ekologiannya, besarnya potensi simpanan karbon, kondisi fisik tanah (bobot jenis), dan keragaman makrofauna tanah. Hasil penelitian ini menunjukkan keseluruhan parameter pengukuran tidak berbeda antara ketiga lokasi. Berdasarkan kondisi tersebut, penyebab utama degradasi memberikan pengaruh (perubahan kondisi biotik dan abiotik) yang sama dalam luasan yang sangat luas dengan jarak 10 km. Hal ini terjadi karena parameter-parameter yang diukur tersebut sangat sensitif/peka terhadap perubahan yang terjadi.

Kata kunci: degradasi, jenis, karbon, makrofauna

ABSTRACT

Fire and illegal logging are main causes of peat swamp forest (PSF) degradation. Degradation causes biotic and abiotic changes of PSF. This research was designed to collect data on description of species composition, carbon stock, soil physical factors, and soil macrofauna as indicators of changes in land condition due to PSF degradation. This research was conducted on degraded PSF area caused by fire and illegal logging. Sample plots were located based on the distance from the river i.e., <1.5; <4; and <10 km. Parameters measured included species composition of the stands and their ecological indices, carbon stock potential, soil physical condition (density), and soil macrofauna diversity. Research results showed that all of the parameters in those three locations were not significantly different. Based on those conditions, the main causes of degradation gave the same effects (biotic and abiotic changes) in the very ranged area with 10 km distances. These results were caused by the condition that all parameters measured were very sensitive to changes occurred in all experimental location.

Keywords: carbon, degradation, macrofauna, species

PENDAHULUAN

Luas lahan gambut di Indonesia mencapai 14,9 juta ha (Ritung *et al.* 2011; Wahyunto *et al.* 2014) dan tersebar di Pulau Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua (Ritung *et al.* 2011; Rose *et al.* 2011). Salah satu bentuk penutupan lahan gambut ialah hutan rawa gambut. Hutan Rawa Gambut (HRG) merupakan salah satu ekosistem penting di Indonesia. HRG menyediakan berbagai jasa lingkungan yang penting baik yang bersifat manfaat langsung maupun tidak langsung, seperti menghasilkan kayu dan bukan kayu

(Rieley 2016), menyimpan karbon dalam jumlah besar (Page *et al.* 2010), habitat flora dan fauna endemik (Rose *et al.* 2011), pengatur tata air pada kawasan tersebut (Wosten *et al.* 2008), dan juga sebagai kawasan ekowisata (van Beukering *et al.* 2008).

Provinsi Kalimantan Tengah mempunyai lahan gambut seluas 2,66 juta ha (Ritung *et al.* 2011). HRG tersebut sebagian besar terdegradasi akibat kebakaran, drainase yang berlebihan, dan deforestasi (Page *et al.* 2002; Hirano *et al.* 2014) dan hanya 21% di antaranya yang dikelola dengan baik (Badan Restorasi Gambut (BRG) 2016). Pada tahun 1997, kebakaran yang sangat besar terjadi di lahan gambut yang luasnya mencapai 0,73 juta ha (Page *et al.* 2002). Kebakaran tersebut telah menyumbangkan emisi karbon yang sangat besar (0,19–0,23 Gton CO₂) (Page *et al.* 2002) dan merusak habitat flora dan fauna. Pemulihan kerusakan tersebut membutuhkan waktu yang sangat lama dan proses yang terjadi bisa saja menghasilkan perubahan pada komposisi jenis

¹ Balai Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan (BP2LHK) Banjarbaru, Jl. A. Yani KM.28,7 Landasan Ulin, Banjarbaru, Kalimantan Selatan, PO. BOX 1065

² Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan, Jl. Gunung Batu No. 5 Kotak Pos 165, Bogor 16119

* Penulis Korespondensi:
Email: qirom.litbanglkh@gmail.com

penyusun tegakannya (Kimmins 1997). Pemulihan yang diharapkan adalah pemulihan yang menuju ke ekosistem asli. Proses pemulihan yang terjadi dapat diukur dari beberapa faktor, antara lain komposisi jenis tumbuhan, potensi simpanan karbon, kondisi fisik tanah, dan makrofauna tanah sebagai agen untuk membantu perbaikan kondisi tanah. Menurut Irulappa *et al.* (2016) dan Könönen *et al.* (2018), pemulihan tersebut sangat terkait dengan kurun waktu ketika lahan gambut tersebut tidak pernah terbakar lagi.

Penelitian ini dilakukan pada areal yang terdegradasi akibat penebangan dan mengalami kebakaran terakhir pada tahun 1997 di Resort Mangkok, Taman Nasional Sebangau (Taman Nasional Sebangau 2016). Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran kondisi/komposisi jenis penyusun dan potensi simpanan karbonnya, kondisi fisik tanah (bobot jenis), dan keragaman makrofauna tanah pascakebakaran pada tahun 1997. Informasi ini dapat digunakan dalam mendapatkan proses pemulihan lahan gambut dan memperkirakan dampak kerusakan yang ditimbulkan akibat kebakaran.

METODE PENELITIAN

Kondisi Umum Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini terletak di Resort Mangkok Taman Nasional Sebangau. Menurut Taman Nasional Sebangau (2016) resort ini ditujukan untuk kegiatan penelitian, antara lain penelitian keanekaragaman hayati, restorasi lahan gambut, dan sosial masyarakat. Areal ini merupakan areal bekas kebakaran pada tahun 1997 dan bekas *illegal logging*. Saat ini, kondisi areal ini bebas dari ancaman perambahan dan tumpang tindih kawasan. Pada areal ini, kanal-kanal banyak ditemukan, terutama bekas akses kegiatan pene-

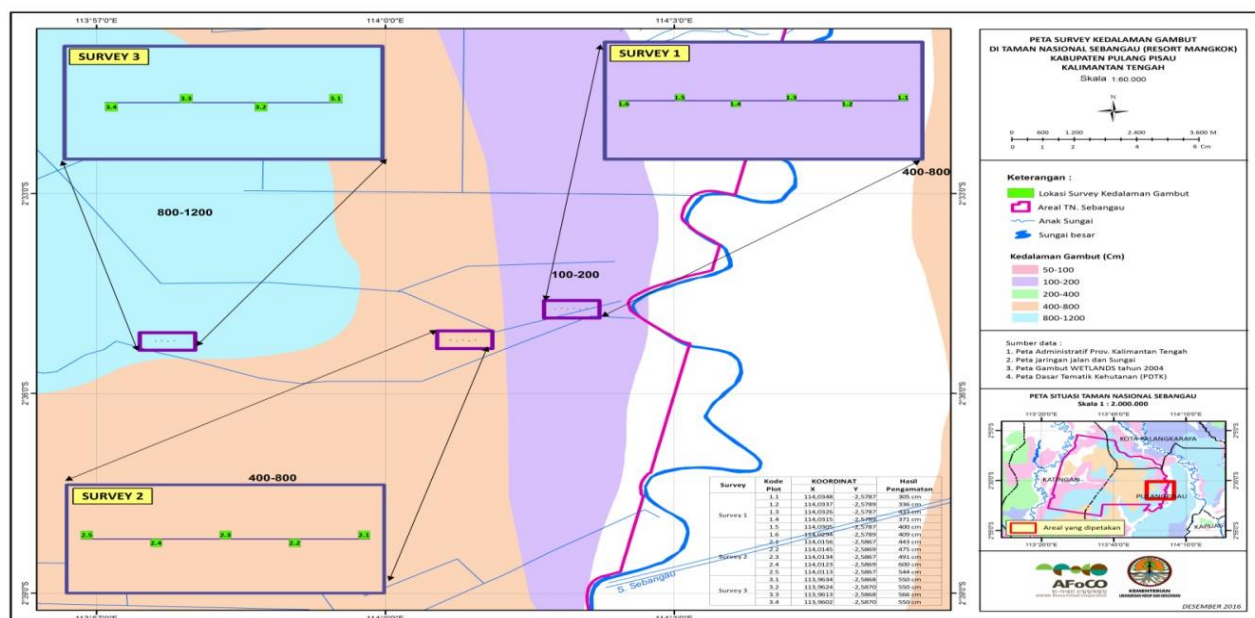
bangunan areal PT. Sanitara Sebangau Indah (SSI). Areal ini dialokasikan sebagai pengembangan wisata berbasis riset seluas 88 ha. Usaha yang telah dilakukan adalah pembangunan tabat/dam sebanyak 45 buah. Dam/tabat tersebut terdiri atas 3 tipe, yaitu 10 buah tipe permanen, 9 buah tipe semipermanen, dan 26 buah bertipe sederhana (Taman Nasional Sebangau 2016).

Pengambilan Data

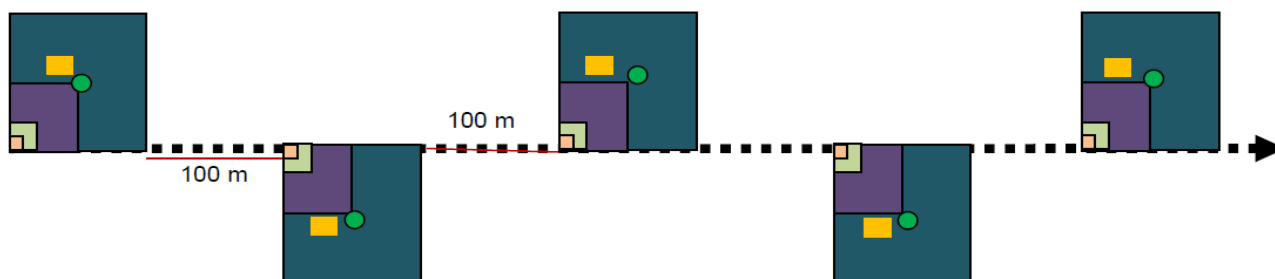
Data keragaman jenis, potensi simpanan karbon, tanah, dan makrofauna tanah diambil di Hutan Rawa Gambut Taman Nasional Sebangau Kalimantan Tengah. Pengambilan data dilakukan pada beberapa kedalaman gambut (kedalaman 3–4 m sebanyak 6 petak pengamatan, kedalaman 4–5 m sebanyak 5 petak pengamatan, dan kedalaman >5 m sebanyak 4 petak pengamatan) dengan jarak yang berbeda dari sungai besar (800 m–10 km) (Gambar 1). Total semua petak-petak pengamatan adalah sebanyak 15 petak. Pada masing-masing kedalaman gambut tersebut petak-petak pengamatan diletakkan secara sistematis, yakni jarak antar-petak pengamatan adalah sepanjang 100 m. Pembuatan petak pengamatan dilakukan dengan sistem jalur/transek dan petak pengamatan diletakkan berselang-seling antara petak satu dengan petak yang lain dan pengukuran parameter di setiap petak pengamatan tersebut, antara lain analisis vegetasi, potensi simpanan karbon pohon/tegakan, bahan organik tanah, dan makrofauna tanah (Gambar 2). Pengambilan data masing-masing parameter sebagai berikut:

- **Analisis vegetasi**

Pengambilan keragaman jenis tumbuhan dilakukan pada petak dengan ukuran 20 x 20 m untuk tingkat pohon, 10 x 10 m untuk tingkat tiang, 5 x 5 m untuk



Gambar 1 Lokasi pengambilan data vegetasi, simpanan karbon tegakan, karakteristik fisika tanah, dan makrofauna tanah di Resort Semangkok Taman Nasional Sebangau.



Gambar 2 Cara pengukuran dan ukuran plot untuk analisis makrofauna tanah, analisis vegetasi dan pengukuran simpanan karbon tegakan, dan pengambilan sampel tanah; ■: plot makrofauna tanah (625m²); ●: pengambilan sampel tanah; ■: pengukuran tingkat pohon (20 x 20 m); ■: pengukuran tingkat tiang (10 x 10 m); ■: pengukuran tingkat pancang (5 x 5 m); ■: pengukuran tingkat semai (2 x 2 m).

tingkat pancang, dan 2 x 2 m untuk tingkat semai. Kriteria pengukuran untuk tingkat permudaan/partumbuhan mengacu pada SNI 7724:2011 (Badan Standardisasi Nasional 2011). Kriteria tersebut antara lain adalah tingkat semai dengan diameter <2 cm dengan tinggi ≤1,5 m; tingkat pancang dengan ukuran 2–<10 cm; tingkat tiang dengan diameter 10–<20 cm; dan pohon dengan diameter ≥20 cm. Data-data yang diambil meliputi jenis, kerapatan, dan diameter tumbuhan.

• Pengukuran potensi simpanan karbon pohon/tegakan

Pengukuran simpanan karbon dilakukan dengan menggunakan ukuran petak-petak contoh sesuai dengan tingkatan pohon. Ukuran tersebut sesuai dengan standarisasi pengukuran dan penghitungan cadangan karbon dan pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon hutan (Badan Standardisasi Nasional 2011). *Carbon pool* yang diukur hanya pada bagian pohon/tegakan. Data-data pengukuran meliputi jenis dan diameter. Jenis ini digunakan dalam penentuan model allometrik yang digunakan.

• Bahan organik tanah

Sampel tanah diambil dari setiap petak-petak pengamatan pada masing-masing tipologi. Titik pengambilan sampel tanah berada di tengah-tengah petak pengamatan dan pengambilan sampel tanah dilakukan dengan menggunakan bor gambut (*peat auger Eijkelkamp*). Sampel tanah diambil setiap jarak 50 cm, yakni 0–50 cm, 50–100 cm, 100–150 cm, 150–200 cm, dan 200–250 cm, sampai dengan batas tanah gambut dengan tanah mineral (liat atau pasir). Karakteristik tanah yang diambil meliputi kadar air, porositas, dan *bulk density*. Pengukuran karakteristik tanah tersebut dilakukan pada keseluruhan lapisan yang diukur. Pengukuran bahan organik tersebut ditentukan dengan analisis laboratorium Balai Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan Banjarbaru.

• Makrofauna tanah

Lokasi pengambilan makrofauna tanah ini dilakukan pada petak-petak pengukuran vegetasi. Plot penga-

matan berukuran 25 x 25 x 25 cm. Semua tanah dalam petak tersebut diambil dan disaring dengan menggunakan ayakan untuk mendapatkan makrofauna tanah. Metode yang digunakan adalah *hand sortir* (Haneda & Asti 2014; Wibowo & Slamet 2017) dan hasil pemilihan tersebut dimasukkan ke dalam alkohol untuk dianalisis lebih lanjut seperti kelimpahan jenis, kerapatan jenis, dan dominansi makrofauna. Identifikasi jenis tersebut dilakukan di Laboratorium Pengaruh Hutan, Balai Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Banjarbaru. Identifikasi dilakukan dengan menggunakan Buku Identifikasi Serangga (Borror *et al.* 1992). Hasil identifikasi ini berupa kelompok jenis (*family*) dan dikelompokkan menurut fungsi ekologi.

Pengolahan Data

• Analisis vegetasi dan makrofauna tanah

Data hasil pengukuran vegetasi dan makrofauna tanah diolah untuk mendapatkan kerapatan, kerapatan relatif, frekuensi, frekuensi relatif, dominansi, dominansi relatif, dan indeks nilai penting (Mueller-Dombois *et al.* 2016).

Indeks ekologi terdiri atas indeks nilai penting, indeks keanekaragaman, indeks kesamaan komunitas, indeks dominansi, dan indeks pemerataan. Indeks nilai penting (INP) menggambarkan pentingnya peranan suatu jenis vegetasi dalam suatu ekosistem. Penentuan INP menggunakan rumus Mueller-Dombois dan Ellenberg (Mueller-Dombois *et al.* 2016) sebagai berikut:

$$\text{Kerapatan (K)} = \frac{\text{Jumlah individu}}{\text{Luas petak ukur}}$$

$$\text{Kerapatan relatif (KR)} = \frac{\text{Kerapatan suatu jenis}}{\text{Kerapatan semua jenis}} \times 100\%$$

$$\text{Dominansi (D)} = \frac{\text{Luas bidang dasar suatu jenis}}{\text{Luas petak ukur}}$$

$$\text{Dominansi relatif (DR)} = \frac{\text{Dominansi suatu jenis}}{\text{Dominansi semua jenis}} \times 100\%$$

$$\text{Frekuensi (F)} = \frac{\text{Jumlah petak ditemukan suatu jenis}}{\text{Jumlah semua petak ukur}}$$

$$\text{Frekuensi relatif (FR)} = \frac{\text{Frekuensi suatu jenis}}{\text{Frekuensi semua jenis}} \times 100\%$$

Indeks nilai penting (INP) = KR + DR + FR

Keanekaragaman vegetasi dihitung menggunakan indeks Shannon dan Wiener (Krebs 1978) sebagai berikut:

$$H' = \sum \left[\frac{n_i}{N} \right] \log_2 \left[\frac{n_i}{N} \right]$$

Keterangan:

H' : Indeks Shannon dan Wiener

n_i : Jumlah individu tertentu

N : Jumlah total individu

Indeks dominansi jenis ditentukan menggunakan rumus Simpson 1949 (Magurran 2004) sebagai berikut:

$$C = \sum \left[\frac{n_i}{N} \right]^2$$

Keterangan:

C : Indeks dominansi

N : Total nilai penting

n_i : Nilai penting masing-masing jenis

Indeks dominansi akan bernilai 1 atau mendekati 1 jika dominansi dipusatkan pada satu atau sedikit jenis. Sebaliknya, komunitas hutan yang diamati didominasi oleh banyak jenis, maka nilai indeks dominansi jenisnya akan bernilai rendah atau bahkan mendekati nol.

Konsep pemerataan menunjukkan derajat pemerataan atau kelimpahan individu pada setiap jenis. Jika jumlah individu tumbuhan yang ditemukan tersebar merata pada setiap jenis, maka nilai E_H akan mendekati satu, tetapi jika individu yang ada tersebar tidak merata pada setiap jenis, maka nilai E_H akan mendekati nol. Nilai pemerataan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Krebs 1978):

$$E_H = \frac{H'}{\log(S)}$$

Keterangan:

E_H : Indeks pemerataan (*evenness*)

H' : Indeks shanon-wiener

S : Jumlah jenis (spesies)

Untuk mengetahui tingkat kesamaan antara beberapa tegakan, antara beberapa unit *sampling*, atau antara beberapa komunitas yang dipelajari maka komposisi dan struktur komunitasnya dibandingkan. Tingkat kesamaan ini ditentukan menurut rumus Odum 1993 (Krebs 1978) sebagai berikut:

$$IS = \frac{2C}{A + B}$$

Keterangan:

IS : Indeks kesamaan (%)

C : Jumlah spesies yang sama dan terdapat pada dua komunitas

A : Jumlah spesies di dalam komunitas A

B : Jumlah spesies di dalam komunitas B

• Simpanan karbon tegakan

Simpanan karbon dihitung dengan pendekatan pengukuran diameter. Menurut Manuri *et al.* (2014) besarnya simpanan karbon dihitung dengan rumus:

$$AGB = 0,125 (DBH)^{2,533}$$

Keterangan:

AGB : Biomassa permukaan (kg)

DBH : Diameter (cm)

Hasil pendugaan tersebut adalah biomassa sehingga konversi biomassa menjadi karbon dengan menggunakan faktor konversi sebesar 0,46 (Hairiah *et al.* 2001).

• Kadar air dan bobot jenis tanah

Kadar air tanah gambut ditentukan pada setiap lapisan. Menurut Haygreen & Bowyer (1993) perhitungan kadar air tersebut dirumuskan sebagai berikut:

$$KAc (\%) = \frac{BBc - BKTc}{BKTc} \times 100\%;$$

$$BKT = \frac{BB}{1 + (\%KAc/100)}$$

Keterangan:

KAc : Kadar air contoh (%)

BBc : Bobot basah contoh (g)

BB : Bobot basah total (g)

BKTc : Bobot kering contoh (g)

BKT : Bobot kering total (g)

Parameter lain yang diukur ialah bobot jenis tanah. Bobot jenis tanah atau *bulk density* (BD) ditentukan berdasarkan sampel yang diambil dengan bor gambut (*peat auger Eijkelkamp*). Menurut Agus *et al.* (2011) dan Muslihat (2003) penentuan BD dirumuskan sebagai berikut:

$$BD = W/V$$

Keterangan:

BD : *Bulk density* (g/cm³)

W : Bobot kering total dari sampel (g)

V : Volume bor gambut (*peat auger Eijkelkamp*) (500 cm³)

Analisis Data

Analisis data yang dilakukan untuk mendapatkan pengaruh lokasi (jarak lokasi dari tepi sungai dan kedalaman gambut) perbedaan jarak dari tepi sungai dan kedalaman gambut tersebut menjadi perlakuan dalam proses analisis data. Analisis tersebut dilakukan atas beberapa parameter indeks keragaman, pemerataan, dan kesamaan dominansi untuk vegetasi dan makrofauna tanah, simpanan karbon tegakan, dan bobot jenis. Hipotesis ini didasarkan pada hasil penelitian yang menyatakan bahwa karakteristik lahan dan komposisi jenis dipengaruhi oleh jarak areal

tersebut dari tepi sungai (Page *et al.* 1999; Mirmanto 2010). Hipotesis yang diuji, yaitu:

H₀ : Perbedaan letak plot pengamatan dari tepi sungai tidak berpengaruh pada kondisi biofisik lahan (keragaman vegetasi, makrofauna tanah, simpanan karbon tegakan, dan fisika tanah)

H₁ : Letak plot pengamatan dari tepi sungai memengaruhi kondisi biofisik lahan (keragaman vegetasi, makrofauna tanah, simpanan karbon tegakan, dan fisika tanah)

Pengujian ini menggunakan uji ANOVA dengan uji-F yang dirumuskan: $F_{hitung} = \frac{KTP}{KTS}$ dengan KTP: kuadrat tengah perlakuan dan KTS: kuadrat tengah sisa/galat (Steel & Torrie 1991). Dengan kaidah keputusan: $F_{hitung} < F_{tabel}$: terima H₀; $F_{hitung} > F_{tabel}$: tolak H₀

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi Jenis

Komposisi jenis penyusun tegakan baik jenis dan kerapatannya pada lokasi yang berbeda berdasarkan jarak dapat dilihat pada Tabel 1. Penelitian ini menemukan komposisi jenis pohon yang tergolong rendah, yaitu sebanyak 47–54 jenis pada lanskap hutan rawa gambut yang dilihat berdasarkan jarak dari tepi sungai. Hingga jarak 10 km dari tepi sungai tidak tampak kecenderungan semakin sedikit atau semakin banyaknya jumlah jenis pohon. Hal ini menunjukkan tersebarnya pusat gangguan di lokasi penelitian yang diindikasikan oleh jumlah kanal yang ditemukan. Berdasarkan pengukuran di peta diketahui bahwa kanal buatan yang menjadi akses menuju hutan pada lokasi penelitian ini mencapai panjang 9 dan 11 km (Gambar 1). Walaupun dari segi komposisi jenis tergolong rendah, berdasarkan struktur vegetasi yang ditemukan, tingkat semai mempunyai kerapatan terbesar, dan semakin turun kerapatannya pada tingkat permudaan di atasnya (pohon). Kondisi ini menunjukkan bahwa struktur penyusun tegakan masih normal berdasarkan konsep kurva J terbalik.

Keanekaragaman jenis tumbuhan pada lokasi penelitian ini relatif rendah dibandingkan dengan penelitian Page *et al.* (1999); Mirmanto (2010); dan Rose *et al.* (2011). Pada hutan yang tidak terganggu (hutan alam) di Sebangau ditemukan lebih dari 103 jenis tumbuhan (Mirmanto 2010). Penelitian Page *et al.* (1999) di Sebangau menemukan lebih dari 100 jenis

tumbuhan yang tersebar dari pinggir Sungai Sebangau sampai dengan jarak 13 km dan kedalaman gambut 1,5–15 m. Dari hasil penelitian tersebut disimpulkan bahwa komposisi jenis sangat berkaitan erat dengan jarak ke sungai dan kedalaman gambut. Umumnya, keragaman jenis pada hutan gambut tropika adalah yang tertinggi dibandingkan dengan lahan gambut pada tipe iklim yang lain (Rose *et al.* 2011). Hasil studi Rose *et al.* (2011) pada lahan gambut di Asia Tenggara mendapatkan keragaman jenis tumbuhan yang berkisar antara 30–122 jenis (100–290 jenis pada *dry land*, dan pada *heath forest* sebanyak 29–129 jenis) yang didominasi oleh pohon sebanyak 63 dan 16% (herba dan liana). Komposisi jenis tumbuhan di lokasi selain TN Sebangau juga sangat beragam. Studi keragaman jenis tumbuhan pada hutan rawa gambut terdegradasi di Riam Berasap, Kalimantan Barat, menemukan sebanyak 108 jenis pada tiga tipe penutupan lahan, yakni >10 tahun setelah penebangan (*low*), 5–10 tahun setelah penebangan (*intermediate*), dan hutan terdegradasi (areal terbuka atau bekas kebakaran) (Astiani 2016).

Secara umum, keanekaragaman jenis tumbuhan hasil penelitian ini dengan luas plot seluas 0,6 ha lebih rendah dibandingkan dengan penelitian lain di beberapa lokasi yang berbeda di Taman Nasional Sebangau di Resort Punggu Alas (Nugroho 2014; Denny & Kalima 2016). Penelitian Nugroho (2014) di Lokasi Punggu Alas Taman Nasional Sebangau dengan luas plot seluas 1,12 ha pada tahun 2011 mendapatkan keragaman jenis sebanyak 133 jenis dengan jenis yang dominan adalah *Palaquium leiocarpum* Boerl.v. Pada lokasi yang sama menurut Denny & Kalima (2016) dengan luas plot seluas 2,1 ha pada tahun 2015 menemukan jenis yang lebih rendah sebanyak 96 jenis sehingga dapat dikatakan bahwa komposisi jenis tersebut sangat dinamis dan perubahannya terkait dengan lokasi dan waktu monitoring atau dengan kata lain, keanekaragaman jenis tersebut sangat bervariasi dan bersifat spesifik. Hal tersebut sesuai dengan pendapat Mirmanto, (2010) yang menyatakan bahwa perbedaan komposisi dan struktur jenis penyusun tegakan sangat dipengaruhi oleh kondisi lokasi dan lingkungan. Faktor lain yang berpengaruh adalah perubahan penggunaan lahan. Perubahan tersebut akan menyebabkan perubahan komposisi jenis penyusun tegakan. Hal ini sejalan dengan penelitian Mofu (2011) pada tiga jenis penggunaan

Tabel 1 Komposisi jenis penyusun tegakan

Tipologi gambut	Kerapatan (ha)				Jumlah jenis (spesies)				
	Semai	Pancang	Tiang	Pohon	Semai	Pancang	Tiang	Pohon	Total
Jarak <1,5 km/ dalam <4 m	25.417	8.200	600	175	22	35	21	19	49
Jarak <4 km/ dalam <5 m	40.000	11.800	1.060	196	19	41	25	15	54
Jarak <10 km/ dalam <6 m	37.500	4.240	1.250	300	16	21	25	15	47

Keterangan: Jarak <1,5 dalam <4 m: lokasi berada pada jarak 800 m–1,3 km dari sungai dengan kedalaman gambut 3–4 m; jarak <4 km dalam <5 m: lokasi berada pada jarak 3–4,5 km dari sungai dengan kedalaman gambut 4–5 m; dan jarak <10 km dalam <6 m: lokasi berada pada jarak 9,5–10 km dari sungai dengan kedalaman gambut 6,5 m.

lahan di Hutan Rawa Gambut Riau, yakni hutan alam, HTI, dan sawit. Pada lokasi perkebunan sawit ditemukan keanekaragaman jenis yang paling rendah. Areal penelitian merupakan areal terdegradasi akibat kebakaran lahan dan *illegal logging* dan tidak berubah penggunaan dan penutupan lahan. Gangguan tersebut terakhir terjadi pada tahun 1997 (Taman Nasional Sebangau 2016). Hal ini menunjukkan bahwa proses suksesi alam dari sisa-sisa permudaannya telah berjalan. Proses tersebut ditunjukkan oleh keragaman yang relatif tinggi jika dibandingkan dengan penutupan/penggunaan lahan lain.

Gambaran vegetasi penyusun tegakan tersebut masih didominasi oleh jenis-jenis pioneer, seperti

Combretocarpus rotundatus dan *Calophyllum hosei* (kedua jenis ini terdapat pada ketiga tipologi) dan hanya sebagian kecil merupakan jenis klimaks seperti *Shorea* spp. dan *Gonystylus bancanus* (Tabel 2). Hal ini mengindikasikan bahwa lokasi ini merupakan areal-areal yang terganggu baik oleh kebakaran maupun penebangan. Hal ini sesuai dengan penelitian (Astiani 2016) yang menyatakan bahwa keragaman jenis akan menurun sesuai dengan tingkat intensitas gangguan dan waktu pemulihan yang ada. Pada lokasi gambut terdegradasi, keanekaragaman jenis yang ditemukan adalah sebanyak 48 jenis atau menurun sebesar 41,4% dibandingkan dengan keanekaragaman hutan bekas tebangan dengan waktu pemulihan >10 tahun.

Tabel 2 Jenis-jenis dominan penyusun tegakan hutan gambut bekas terbakar

Tipologi	Tingkat	Nama lokal	Nama latin	INP (%)
Jarak dari sungai 800 m–1,5 km dan ketebalan gambut 3–4 m	Semai	Kambasira	<i>Ilex cymosa</i> Blume	39,08
		Tatumbu merah	-	16,29
		Hampuak	<i>Baccaurea bracteata</i> Mull. Arg.	14,60
	Pancang	Saga gulang	<i>Acronychia pedunculata</i> (L) Miq	24,67
		Parut	<i>Calophyllum</i> sp.	13,28
		Kambasira	<i>Ilex cymosa</i> Blume	12,40
	Tiang	Gerunggang	<i>Cratoxylum glaucum</i> Korth	47,50
			<i>Camnosperma coriaceum</i> (Jack) Hallier F.	38,80
			<i>Diospyros pseudomalabrica</i> (Desr.) Kostel	21,80
	Pohon	Terentang	<i>Camnosperma coriaceum</i> (Jack) Hallier f.	42,17
			<i>Diospyros pseudomalabrica</i> (Desr.) Kostel	40,87
		Tutup Kabali	<i>Mezettia</i> sp.	28,81
	Semai	Tapuhut	<i>Syzygium</i> sp.	36,30
		Kambasira	<i>Ilex cymosa</i> Blume	35,30
		Pampaning	<i>Lithocarpus conocarpa</i> (Oudem.) Rehder	15,06
Jarak dari sungai 3–4,5 km dan ketebalan gambut 4–5m	Pancang	Terentang	<i>Camnosperma coriaceum</i> (Jack) Hallier F.	12,10
		Saga gulang	<i>Acronychia pedunculata</i> (L) Miq	11,42
		Gantalang	<i>Palaquium</i> sp.	9,84
	Tiang	Saga gulang	<i>Acronychia pedunculata</i> (L) Miq	37,33
			<i>Camnosperma coriaceum</i> (Jack) Hallier f.	28,84
		Tapuhut	<i>Syzygium</i> sp.	26,64
	Pohon	Terentang	<i>Camnosperma coriaceum</i> (Jack) Hallier f.	65,50
		Meranti bunga	<i>Shorea</i> sp.	35,00
		Parut	<i>Calophyllum</i> sp.	34,00
	Semai	Hampuak	<i>Baccaurea bracteata</i> (Mull) Arg.	32,20
		Gandis	<i>Garcinia cf. bancana</i>	30,60
		Saraka	-	26,70
	Pancang	Saga gulang	<i>Acronychia pedunculata</i> (L) Miq	26,52
		Mahuwi	-	19,89
		Saraka	-	18,01
Jarak dari sungai 9,5–10 km dan ketebalan gambut < 6 m	Tiang	Tapuhut	<i>Syzygium</i> sp.	34,90
		Tampang gagas	<i>Ternstroemia</i> sp.	33,10
		Parut	<i>Calophyllum</i> sp.	27,50
	Pohon		<i>Xylopia fusca</i>	
		Rahanjang	Maingay ex Hook.f. & Thomson	46,50
			<i>Combretocarpus rotundatus</i> (Miq)	
	Tumih		Danser	44,20
			<i>Calophyllum hosei</i>	
		Bintangur	Ridl.	44,00
	Pohon			

Keterangan: INP = Indeks nilai penting (%).

Selain itu, hasil penelitian Astiani (2016) pada lahan gambut terdegradasi menemukan jenis dari famili yang sama, yakni *Calophyllum* sp. Kondisi serupa juga dilaporkan dalam hasil penelitian Simbolon (2004) pada hutan bekas kebakaran di Kalimantan Tengah. Jenis-jenis dominan pada lokasi tersebut antara lain adalah *Combretocarpus rotundatus*, *Palaquium gutta*, *Cratoxylum glaucum*, dan *Calophyllum canum*. Hasil penelitian Yulianti *et al.* (2009) melaporkan bahwa jenis *C. rotundatus* dan *C. glaucum* selalu ditemukan pada areal bekas kebakaran, baik areal dengan kebakaran sekali maupun areal dengan kebakaran berulang. Hasil penelitian tersebut menyimpulkan bahwa kebakaran berulang menyebabkan perubahan struktur vegetasi dan gangguan pada proses regenerasi alami.

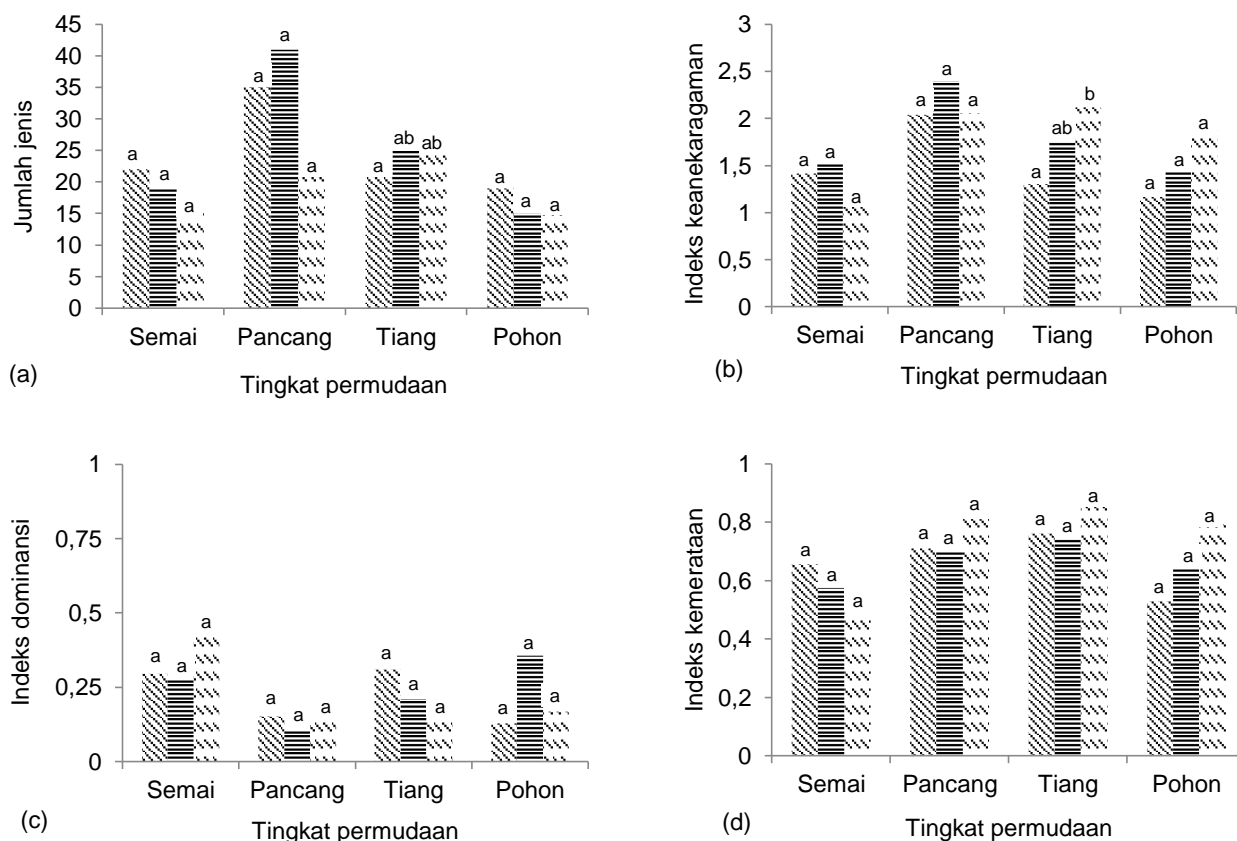
Kelimpahan Jenis dan Indeks: Kesamaan Komunitas, Keanekaragaman, Dominansi, dan Kemerataan Jenis

Kondisi vegetasi di TN Sebangau berdasarkan lanskap lahan menunjukkan kesamaan komunitas yang sama mulai dari tepi sungai hingga jarak 10 km dari tepi sungai. Indeks kesamaan komunitas (Sorensen) ini berkisar antara 72,5–73,5%. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi jenis penyusun ketiga tipologi tersebut hampir sama. Hal ini didukung oleh hasil ANOVA terhadap jenis (Gambar 3a) dan indeks

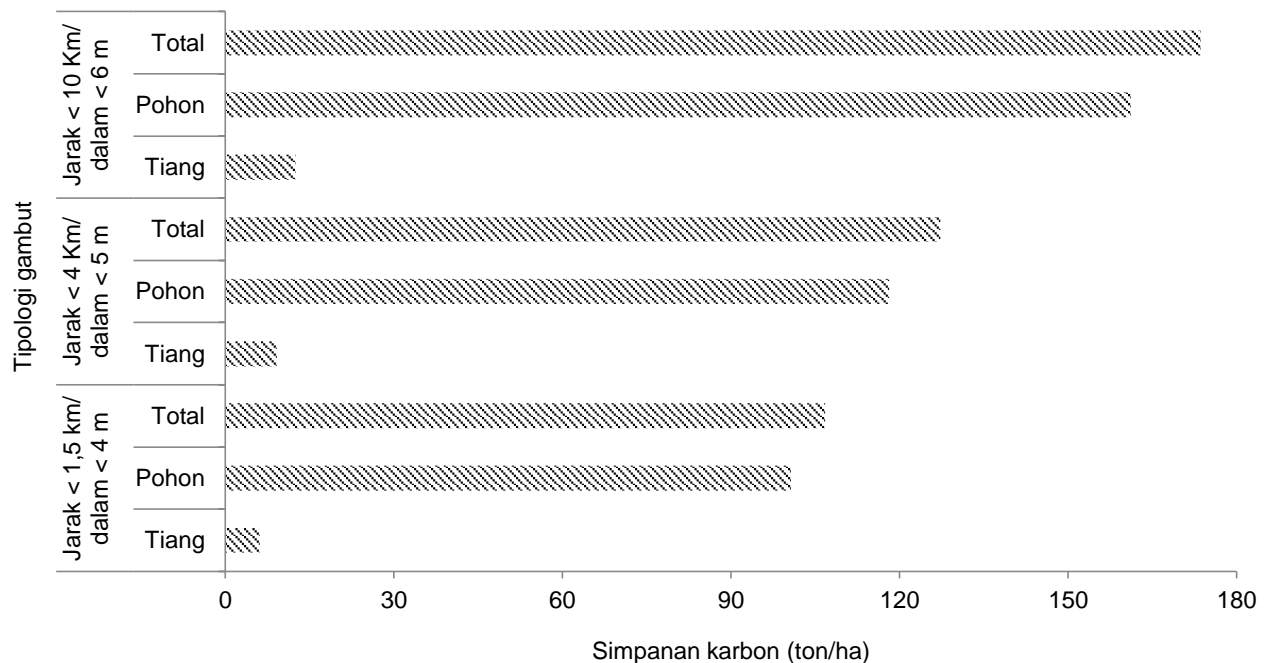
keanekaragaman jenis (*Shanon Wiener*) (Gambar 3b) pada tingkat semai ($P=0,378$; $P=0,128$), pancang ($P=0,087$; $P=0,111$), dan pohon ($P=0,393$; $P=0,767$). Sementara itu, pada tingkat jenis tiang (Gambar 3a) indeks keanekaragaman jenisnya (Gambar 3b) berbeda nyata ($P=0,01$; $P=0,022$). Hasil berbeda ditunjukkan untuk uji ANOVA terhadap indeks dominansi (Gambar 3c) dan indeks kemerataan (Gambar 3d). Secara keseluruhan, kedua indeks tersebut tidak berbeda nyata pada keseluruhan tingkat permudaan: semai ($P=0,128$; $P=0,288$), pancang ($P=0,161$; $P=0,107$); tiang ($P=0,072$; $P=0,605$); dan pohon ($P=0,428$; $P=0,095$).

Potensi Simpanan Karbon Tegakan

Pada bagian ini dievaluasi potensi simpanan karbon pada tegakan berbeda-beda antar-jarak dari tepi sungai dan kedalaman gambut (tipologi gambut). Secara keseluruhan, tingkat pohon bertindak sebagai penyimpan karbon terbesar (Gambar 4). Besarnya potensi simpanan karbon tersebut sangat dipengaruhi oleh kerapatan dan dimensi pohon penyusun tegakan. Potensi simpanan karbon pada tegakan tersebut berkisar antara 106–173 ton/ha. Lokasi yang lebih jauh dari sungai mempunyai kecenderungan potensi simpanan karbon tegakan yang lebih besar (Gambar 4). Potensi terbesar tersebut terutama disebabkan oleh



Gambar 3 a) Jenis penyusun; b) Indeks keragaman jenis, c) Indeks dominansi jenis, dan d) Indeks kemerataan jenis; a) Lokasi dengan Jarak dari sungai 800 m–1,5 km dan ketebalan gambut 3–4 m; b) Lokasi dengan Jarak dari sungai 3–4,5 km dan ketebalan gambut 4–5 m; dan c) Lokasi dengan Jarak dari sungai 9,5–10 km dan ketebalan gambut 5–6 m; huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata.



Gambar 4 Potensi simpanan karbon dari tegakan hutan rawa gambut pada beberapa tipologi gambut berdasarkan kedalaman dan jarak dari sungai.

kerapatan tingkat pohon yang lebih besar dibandingkan dengan lokasi yang dekat dengan sungai (Tabel 1).

Kondisi ini dapat dilihat pada Tabel 1, di mana tingkat tiang mempunyai kerapatan terbesar tetapi mempunyai potensi simpanan karbon yang lebih kecil. Hal ini terjadi karena tingkat tiang mempunyai dimensi yang lebih kecil dibandingkan dengan tingkat pohon. Kondisi ini menunjukkan parameter dimensi tegakan lebih berpengaruh pada potensi simpanan karbon dibandingkan dengan kerapatan tegakan. Namun demikian, hasil uji statistik menunjukkan bahwa simpanan karbon tidak berbeda nyata antar-tipologi gambut ($F_{hit} (0,025, 2, 12) = 0,805$ dan $P_{value} = 0,47$ atau $F_{hitung} < F_{tabel} = 4,86$).

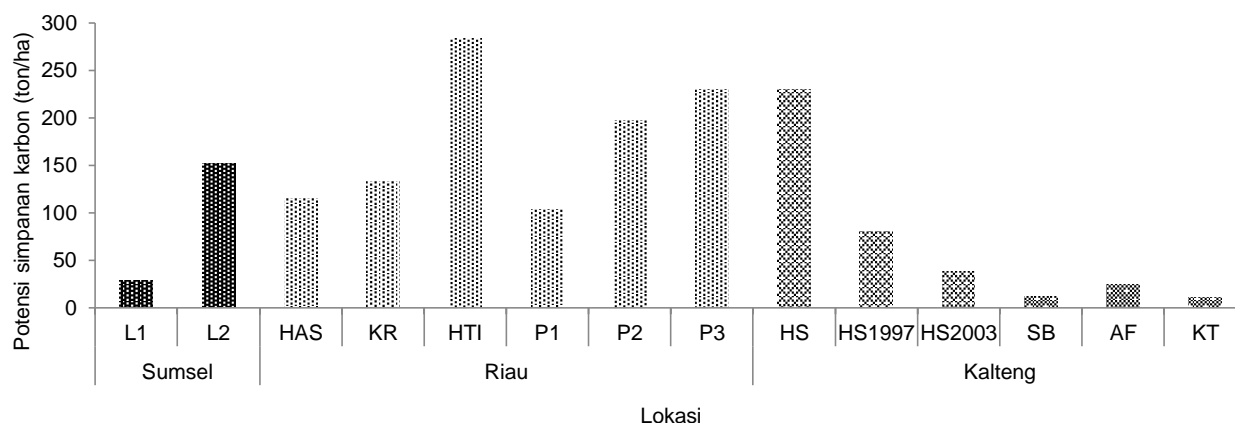
Potensi simpanan karbon tersebut lebih besar dari hasil penelitian yang dilakukan di kebun rakyat dan hutan alam terdegradasi (Mofu 2011), beberapa lahan terdegradasi baik hutan dataran rendah, gambut, dan rawa. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan lahan yang berbeda memengaruhi potensi simpanan karbon. Potensi simpanan karbon terbesar ditemukan pada Hutan Tanaman Industri (HTI) sagu (284,11 ton/ha) > kebun rakyat (133,48 ton/ha) > hutan alam terdegradasi (114,56 ton/ha) (Mofu 2011). Menurut Astiani *et al.* (2017) besarnya potensi simpanan karbon tersebut sangat bergantung pada kondisi lingkungan. Perubahan kondisi lingkungan/penutupan lahan menyebabkan penurunan potensi simpanan karbon. Perubahan menjadi hutan terdegradasi dari tipe hutan dataran rendah, gambut, dan hutan rawa menyebabkan penurunan karbon sebesar 58, 31, dan 26% (Astiani *et al.* 2017). Penurunan potensi simpanan karbon terjadi akibat perubahan komposisi tegakan melalui kegiatan penebangan. Studi Perdhana (2009) menunjukkan peneba-

ngan telah menyebabkan pengurangan potensi simpanan karbon sebesar 67–83%.

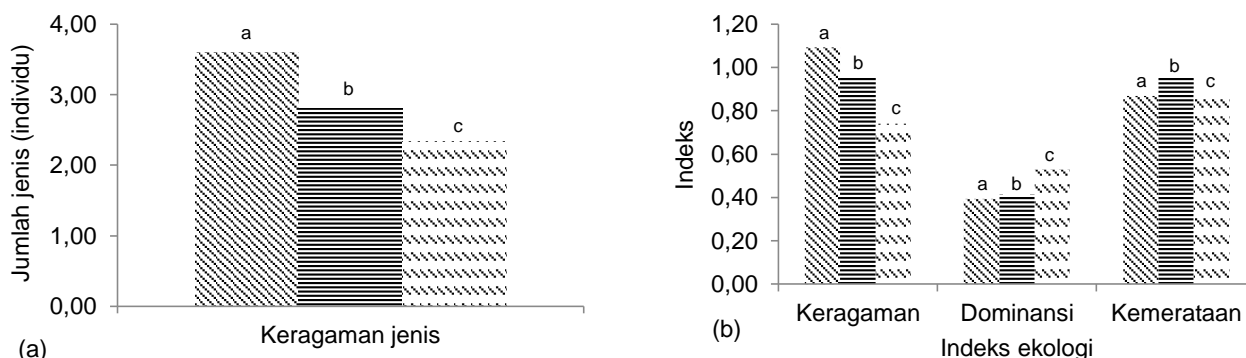
Berdasarkan hasil-hasil studi sebelumnya ditemukan bahwa perubahan potensi simpanan karbon tegakan disebabkan oleh perubahan penutupan lahan (Mofu 2011; Astiani 2016), perbedaan penggunaan lahan (Mofu 2011; Nurzakiah *et al.* 2017), manajemen pengelolaan (Nurzakiah *et al.* 2017), intensitas gangguan dan waktu pemulihan (Qirom *et al.* 2013), dan tingkat kerusakan gambut (Dharmawan 2013) (Gambar 5). Faktor lain adalah perbedaan tipe penutupan lahan (Qirom *et al.* 2018). Penelitian ini dilakukan di Kawasan Hutan dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Tumbang Nusa, Kalimantan Tengah. Menurut Qirom *et al.* (2018) potensi simpanan karbon pada penutupan semak belukar di HRG berkisar 0,85–13,75 ton/ha, sedangkan potensi simpanan karbon pada hutan sekunder berkisar 45,4–187 ton/ha.

Makro Fauna Tanah

Pada keseluruhan lokasi, keragaman dan kepadatan kelompok jenis makro fauna tanah yang ditemukan sangat rendah (Gambar 6a). Hal ini ditunjukkan oleh indeks keragaman kurang dari 2 (Gambar 6b). Hasil uji ANOVA terhadap keragaman jenis dan indeks ekologi menunjukkan bahwa keseluruhan lokasi tidak berpengaruh pada jumlah jenis ($P=0,132$), indeks kergaman ($P=0,309$), indeks dominansi ($P=0,425$), dan indeks pemerataan ($P=0,410$). Kelimpahan jenis ini lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian di perkebunan sawit (Haneda & Sirait 2012). Rendahnya kelimpahan jenis tersebut sangat terkait dengan kondisi abiotik seperti ketersediaan C-organik dan pH tanah (Nurrohman *et al.* 2018). Menurut Handayanto & Hairiah (2009) bahwa pH yang ideal untuk tumbuh dan



Gambar 5 Potensi simpanan karbon tegakan pada beberapa lokasi di lahan gambut; Sumsel = Sumatera Selatan; Kalbar = Kalimantan Barat; Kalteng = Kalimantan Tengah; L1 dan L2 = Areal bekas kebakaran (Widyasari *et al.* 2010); S dan A = Semak belukar dan lahan pertanian; HAS, KR, dan HTI = Hutan alam sekunder, kebun rakyat, dan Hutan Tanaman Industri Sagu ((Mofu 2011); P1, P2, dan P3 = Hutan rawa gambut sebelum penebangan (Perdhana 2009), HS, HS1997, dan HS2003 = Hutan sekunder, hutan bekas kebakaran pada tahun 1997, dan hutan bekas kebakaran pada tahun 2003 (Qirom *et al.* 2013); SB, AF, dan KT = Semak belukar, agroforestry intensif, dan tanaman karet tanpa pemeliharaan (Nurzakiah 2014).



Gambar 6 a) Indeks keragaman jenis, Indeks dominansi jenis, dan Indeks kemerataan jenis untuk makro fauna tanah dan b) Jumlah individu dan jenis untuk marofauna tanah; a) Lokasi dengan jarak dari sungai 800 m–1,5 km dan ketebalan gambut 3–4 m; b) Lokasi dengan jarak dari sungai 3–4,5 km dan ketebalan gambut 4–5m; dan c) Lokasi dengan jarak dari sungai 9,5–10 km dan ketebalan gambut 5–6 m; huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata.

berkembangnya makrofauna tanah adalah pada pH 6–7, sedangkan pH di HRG berkisar antara 3–4. Hal ini menyebabkan kelimpahan makrofauna tanah menjadi rendah karena kondisi optimal untuk tumbuh tidak tercapai. Namun demikian, secara keseluruhan lokasi yang dekat dengan tepi sungai mempunyai keragaman yang lebih tinggi (Gambar 6). Hal ini disebabkan oleh rendahnya tingkat penutupan lahan oleh tingkat pohon yang lebih rendah (Tabel 1).

Menurut Haneda & Sirait (2012) kelimpahan jenis ini sangat terkait dengan ketersediaan makanan pada suatu lokasi penelitian. Faktor lain yang berpengaruh pada kelimpahan makro fauna tanah adalah keragaman jenis tumbuhan di suatu komunitas. Komunitas yang mempunyai keragaman jenis yang tinggi akan menghasilkan kelimpahan makro fauna tanah yang semakin besar (Rahmawaty 2000). Hal ini terjadi karena berkaitan dengan bahan organik yang dihasilkan. Kondisi yang berbeda terjadi di lokasi penelitian. Keragaman makro fauna tanah tidak dipengaruhi oleh perbedaan tingkat keragaman tumbuhan (Gambar 3

dan Tabel 1). Hal ini mengindikasikan bahwa faktor keragaman jenis tumbuhan kurang berpengaruh pada keragaman makro fauna tanah dibandingkan dengan faktor kerapatan tegakan/tajuk tumbuhan. Selain itu, faktor lain yang berpengaruh adalah adanya gangguan terhadap lingkungan seperti kebakaran. Kebakaran menyebabkan terjadinya penurunan kelimpahan makro fauna (Syaufina *et al.* 2007).

Kerapatan Jenis (*Bulk Density*) Tanah Gambut

Kerapatan jenis tanah gambut (BD) mempunyai variasi yang rendah untuk keseluruhan tipologi gambut (Tabel 3). Secara umum, BD tersebut akan meningkat lebih besar di lapisan yang mendekati tanah mineral. Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa $F_{hitung}(0,025,6,91) 2,16 < F_{tabel} = 2,55$; $P_{value} = 0,054$.

Hasil penelitian Rudiyanto *et al.* (2016) di hutan rawa gambut Riau mendapatkan BD yang tidak jauh berbeda. Pada lokasi tersebut, kerapatan jenis tanah berkisar antara 0,013–0,25 g/cm³. BD yang paling besar tersebut (0,25 g/cm³) disebabkan oleh

Tabel 3 Rata-rata kerapatan jenis (*bulk density*) tanah gambut

Lokasi	Kedalaman gambut (cm)	Kerapatan jenis (BD)/kedalaman tanah gambut (g/cm ³)											
		0–50	50–100	100–150	150–200	200–250	250–300	300–350	350–400	400–450	450–500	500–550	550–600
Jarak <1,5 km	≤350	0,11	0,12	0,12	0,10	0,09	0,10	0,23					
	≤450	0,10	0,10	0,12	0,08	0,08	0,08	0,07	0,08	0,17			
Jarak <4 km	≤450	0,09	0,09	0,07	0,10	0,11	0,08	0,08	0,11	0,09			
	≤500	0,11	0,11	0,12	0,09	0,10	0,08	0,10	0,09	0,09	0,10		
	≤550	0,10	0,17	0,11	0,10	0,09	0,10	0,09	0,09	0,10	0,08	0,15	
	≤600	0,10	0,24	0,15	0,12	0,14	0,11	0,11	0,13	0,11	0,09	0,14	0,15
Jarak <10 km	≤500	0,14	0,15	0,17	0,18	0,14	0,10	0,10	0,11	0,26	0,15		
	≤550	0,11	0,08	0,08	0,09	0,07	0,09	0,10	0,09	0,09	0,15	0,09	
	≤600	0,14	0,11	0,14	0,13	0,11	0,13	0,10	0,12	0,22	0,09	0,07	0,07

Keterangan: Jarak merupakan jarak sungai besar dengan plot pengamatan.

tercampurnya mendekati tanah mineral. Hal ini juga dikuatkan oleh Astiani *et al.* (2017) pada pengukuran BD di Kalimantan Barat. Menurut Astiani *et al.* (2017) besarnya BD cenderung konstan pada lapisan vertikal tanah gambut dan akan mengalami kenaikan pada saat mendekati tanah mineral. Studi Muslihat (2003) menunjukkan bahwa penggunaan metode pengukuran yang berbeda akan menghasilkan perbedaan nilai BD pada lokasi yang sama. Metode pengukuran tersebut adalah literan dan ring sampel. Metode literan menghasilkan BD yang lebih besar dibandingkan dengan metode ring sampel. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah penggunaan bor gambut dalam pengambilan sampelnya. Metode ini juga digunakan dalam penentuan BD tanah gambut di Kalimantan (Agus *et al.* 2011; Qirom *et al.* 2018) dan Sumatera (Agus *et al.* 2011). Menurut Agus *et al.* (2011) besarnya BD berkisar antara 0,089–0,174 g/cm³.

Faktor-faktor yang berpengaruh pada nilai BD antara lain ialah pemadatan, komposisi bahan botani penyusunnya, tingkat dekomposisi, kandungan mineral, dan kadar air (Zhang *et al.* 2012). Namun demikian, besarnya BD ini tidak berhubungan dengan kandungan karbon (*carbon content*) yang terkandung di dalamnya (Rudiyanto *et al.* 2016) dan digunakan dalam menduga besarnya simpanan karbon tanah gambut (Muslihat 2003; Manuri *et al.* 2011; Rudiyanto *et al.* 2016).

KESIMPULAN

Kondisi biofisik lanskap lahan gambut terdegradasi merupakan potensi bagi pemulihannya. Tidak ditemukan perbedaan yang signifikan pada kondisi biofisik yang terdiri atas kondisi vegetasi, simpanan karbon, makrofauna tanah, dan kondisi fisik tanah gambut. Hal ini menunjukkan tingkat gangguan yang seragam dan potensi pulih yang sama hingga jarak 10 km dari tepi sungai. Karakteristik biofisik yang seragam ini berimplikasi pada pilihan tindakan pemulihan yang akan dilakukan.

Konsistensi dari hasil penelitian ini dapat diuji dengan membuat jalur/transek yang lebih banyak dan

peletakan petak-petak pengamatan tersebut tersebar (mewakili) perbedaan dari jarak terhadap kanal dan dam/tabat yang dibuat. Transek tersebut dibuat tegak lurus terhadap sungai-sungai besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh proyek BIPS-AfoCO 2015. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Manajemen dan staf Taman Nasional Sebangau atas fasilitas selama pelaksanaan kegiatan di lapangan. Ucapan terima kasih kepada Bapak Pradino yang telah membantu dalam identifikasi jenis tumbuhan di lapangan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Arif Susianto, Supriyadi, dan Ahmad Ali Mustofa A.Md. (teknisi litkayasa Balai Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Banjarbaru) yang telah membantu pelaksanaan di lapangan dan identifikasi jenis makrofauna di laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus F, Hairiah K, Mulyani A. 2011. Measuring carbon stock in Peat Soil: Practical Guidelines. [internet]. [diunduh pada 9 April 2019]. Tersedia pada: Retrieved from <http://balittanah.litbang.deptan.go.id>
- Astiani D. 2016. Tropical peatland tree-species diversity altered by forest degradation. *Biodiversitas, Journal of Biological Diversity*. 17(1): 102–109. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d170115>
- Astiani D, Mujiman, Rafiastanto A. 2017. Forest type diversity on carbon stocks: Cases of recent land cover conditions of tropical lowland, swamp, and peatland forests in West Kalimantan, Indonesia. *Biodiversitas, Journal of Biological Diversity*. 18(1): 137–144. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d180120>
- [BRG] Badan Restorasi Gambut. 2016. *Mengawali Restorasi Gambut Indonesia*. Jakarta (ID).
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2011. Pengukuran dan penghitungan cadangan karbon-

- Pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon hutan (ground based forest carbon accounting) (2011 No. 7724). Jakarta (ID).
- Borrer DJ, Triplehorn CA, Johnson NF. 1992. *Pengenalan Pelajaran Serangga Edisi ke-6*. Partosoedjono S. penerjemah. Yogyakarta (ID): Gajah Mada Universitas Press.
- Denny, Kalima T. 2016. Keanekaragaman Tumbuhan Obat pada Hutan Rawa Gambut Punggu alas, Taman Nasional Sebangau, Kalimantan Tengah. *Buletin Plasma Nutfah*. 22(7): 137–148. <https://doi.org/10.21082/blpn.v22n2.2016.p137-148>
- Dharmawan IWS. 2013. Persamaan alometrik dan cadangan karbon vegetasi pada hutan gambut primer dan bekas terbakar. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. 10(2): 175–191. <https://doi.org/10.20886/jphka.2013.10.2.175-191>
- Hairiah K, Sitompul S, van Noordwijk M, Palm C. 2001. *Methods for sampling carbon stocks above and below ground*. International Centre for Research in Agroforestry, Bogor, Indonesia, ASB Lecture Note 4B. Bogor (ID): ICRAF Southeast Asia.
- Handayanto E, Hairiah K. 2009. *Biologi Tanah: Landasan Pengelolaan Tanah Sehat*. Yogyakarta (ID): Pustaka Adipura.
- Haneda NF, Asti W. 2014. Keanekaragaman Fauna Tanah dan Perannya Terhadap Laju Dekomposisi Serasah Karet (*Hevea brasiliensis*) di Kebun Percobaan Cibodas. *Jurnal Silvikultur Tropika*. 5(1): 54–60.
- Haneda NF, Sirait BA. 2012. Keanekaragaman Fauna Tanah dan Perannya terhadap Laju Dekomposisi Serasah Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq). *Jurnal Silvikultur Tropika*. 3(3): 161–167.
- Haygreen JG, Bowyer JL. 1993. *Forest Product and Wood Science an Introduction. (Hasil hutan dan ilmu kayu: suatu pengantar (Terjemahan)*. Yogyakarta (ID): Gadjah Mada University.
- Hirano T, Kusin K, Limin S, Osaki M. 2014. Carbon dioxide emissions through oxidative peat decomposition on a burnt tropical peatland. *Global Change Biology*. 20(2): 555–565. <https://doi.org/10.1111/gcb.12296>
- Irulappa PVDB, Raulier F, Bernier P, Paré D, Gauthier S, Bergeron Y, Pothier D. 2016. Cover density recovery after fire disturbance controls landscape aboveground biomass carbon in the boreal forest of eastern Canada. *Forest Ecology and Management*. 360: 170–180. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.10.035>
- Jaenicke J, Wosten H, Budiman A, Siegert F. 2010. Planning hydrological restoration of peatlands in Indonesia to mitigate carbon dioxide emissions. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 15(3): 223–239. <https://doi.org/10.1007/s11027-010-9214-5>
- Kimmins JP. 1997. *Forest Ecology (A Foundation for Sustainable Management)*. Second Edition. New Jersey (US): Prentice Hall PTR.
- Könönen M, Jauhiainen J, Straková P, Heinonsalo J, Laiho R, Kusin K, Vasander H. 2018. Deforested and drained tropical peatland sites show poorer peat substrate quality and lower microbial biomass and activity than unmanaged swamp forest. *Soil Biology and Biochemistry*. 123: 229–241 <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.04.028>
- Krebs CJ. 1978. *The Experimental analysis of distribution and abundance* (Second edi). Columbia (CO): The University of British Columbia.
- Magurran EA. 2004. *Measuring biological diversity* (Edisi Pert). Victoria (AU): Blackwell Publishing Ltd.
- Manuri S, Brack C, Nugroho NP, Hergoualc'h K, Novita N, Dotzauer H, Widyasari E. 2014. Tree biomass equations for tropical peat swamp forest ecosystems in Indonesia. *Forest Ecology and Management*. 334: 241–253. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.08.031>
- Manuri S, Putra CAS, Saputra AD. 2011. *Teknik Pendugaan Cadangan Karbon Hutan. Merang REDD Pilot Project, German International Cooperation–GIZ*. Palembang (ID): Merang REDD Pilot Project, German International Cooperation–GIZ.
- Mirmanto E. 2010. Vegetation analyses of Sebangau peat swamp forest, Central Kalimantan. *Biodiversitas*. 11(2): 82–88. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d110206>
- Mofu WY. 2011. Keanekaragaman Vegetasi dan Biomassa pada beberapa Tipe Penggunaan Lahan Gambut di Kabupaten Kepulauan Meranti Provinsi Riau. [Thesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Mueller-Dombois, Dieter, Ellenberg, Heinz. 2016. *Ekologi vegetasi: tujuan dan metode* (Terjemahan). Jakarta (ID): LIPI dan Yayasan Obor Indonesia.
- Muslihat L. 2003. Teknik Pengukuran Bobot Isi Tanah Gambut di Lapangan dan di Laboratorium. *Buletin Teknik Pertanian*. 8(98): 69–71.
- Nugroho AW. 2014. Struktur Vegetasi Dan Komposisi Jenis Pada Hutan Rawa Gambut Di Resort Habaring Hurung, Taman Nasional Sebangau , Kalimantan Tengah. In K. Sumedi, Nur, K. Sidiyasa, M. Turjaman, H.L. Tata, T.E. Komar, M. Wardani, H. Gunawan, I.W.S. Dharmawan (Ed.). Balikpapan (ID): Balai Penelitian Teknologi Konservasi Sumber Daya Alam.
- Nurrohman E, Rahardjanto A, Wahyuni S. 2018. Studi Hubungan Keanekaragaman Makro fauna Tanah dengan Kandungan C-Organik dan Organophosfat Tanah di Perkebunan. *Bioeksperimen*. 4(1): 1–10. <https://doi.org/10.23917/bioeksperimen.v4i1.5923>

- Nurzakiah S. 2014. Prediksi Potensi Emisi Karbon Pada Lapisan Gambut Akrotelmik dan Katotelmik. [Thesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Nurzakiah S, Wakhid N, Nursyamsi D. 2017. Stratifikasi simpanan karbon di atas permukaan tanah pada lahan gambut pasang surut dan lebak. *Berita Biologi*. 16(3): 289–296.
- Page SE, Rieley JO, Shotyk W, Weiss D. 1999. Interdependence of peat and vegetation in a tropical peat swamp forest. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*. 354(1391): 1885–1897. <https://doi.org/10.1098/rstb.1999.0529>
- Page SE, Siegert F, Rieley JO, Boehm HV, Jaya A, Limin S. 2002. The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. 420: 61–65. <https://doi.org/10.1038/nature01131>
- Page S, Wust R, Banks C. 2010. Past and present carbon accumulation and loss in Southeast Asian peatlands. *Pages News*. 18(1): 25–26. <https://doi.org/10.22498/pages.18.1.25>
- Perdhana RF. 2009. Pengaruh Pemanenan Kayu dengan Sistem TPTI terhadap Potensi Karbon pada Vegetasi Hutan Gambut (Studi Kasus di IUPHHK-HA PT. Diamond Raya Timber, Kecamatan Parit Sicin, Kabupaten Rokan Hilir, Riau). [Thesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Qirom MA, Yuwati TW, Santosa PB. 2013. The Changes of Natural Regeneration and Surface Carbon Stock after Peat Swamp Forest Fires. In M. Osaki, H. Takahashi, T. Honma, T. Hirano, Ardiano, H. Hayasaka, B. Dulbert (Eds.), *Proceeding of Interantional Symposium on Wild Fire and Carbon Management in Peat-Forest in Indonesia* (pp. 129–134). Palangka Raya (ID).
- Qirom MA, Yuwati TW, Santosa PB, Halwany W, Rachmadi D. 2018. Potensi Simpanan Karbon pada beberapa Tipologi Hutan Rawa Gambut di Kalimantan Tengah. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. 12(2): 196–2011. <https://doi.org/10.22146/jik.40150>
- Rahmawaty. 2000. Keanekaragaman Serangga Tanah dan Perannya pada Komunitas *Rhizophora* spp. dan Komunitas *Ceriops* Tagal di Taman Nasional Rawa Aopa Watumohai, Sulawesi Tenggara. [Thesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Rieley JO. 2016. *Tropical Peatland-the Amazing Dual Ecosystem: Co-Existence and Mutual Benefit. Holocene*. Nottingham (UK): University of Nottingham
- Ritung S, Wahyunto, Nugroho K, Sukarman, Hikmatullah, Suparto, Tafakresnanto C. 2011. *Peta Lahan Gambu Indonesia Skala 1:250.000*. Jakarta (ID): Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian.
- Rose M, Posa C, Wijedasa LS, Corlett RT. 2011. Biodiversity and Conservation of Tropical Peat Swamp Forests. *BioScience*. 61(49): 49–57. <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.1.10>
- Rudiyanto, Minasny B, Setiawan BI. 2016. Further results on comparison of methods for quantifying soil carbon in tropical peats. *Geoderma*. 269: 108–111. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.01.038>
- Rudiyanto, Setiawan, Arief BI, Saptomo C, Gunawan SK, Kuswarman A, Indriyanto. 2015. Estimating Distribution of Carbon Stock in Tropical Peatland Using a Combination of an Empirical Peat Depth Model and GIS. *Procedia Environmental Sciences*. 24: 152–157. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.03.020>
- Simbolon H. 2004. Proses awal pemulihan hutan gambut Kelampangan-Kalimantan Tengah pascakebakaran hutan Desember 1997 dan September 2002. 7 (September 2002). *Berita Biologi*. 7(3): 145–154.
- Steel RGD, Torrie JH. 1991. *Prinsip dan prosedur statistika: suatu pendekatan biometrik*. (alih bahasa: Bambang Sumantri, Ed.). Jakarta (ID): PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Syaufina L, Haneda NF, Buliyansih A. 2007. Keanekaragaman Arthropoda Tanah di Hutan Pendidikan Gunung Walat. *Media Konservasi*. XII(2): 57–66.
- Taman Nasional Sebangau. 2016. Informasi Resort Mangkok SPTN Wilayah II Pulang Pisau Balai Taman Nasional Sebangau. Palangkaraya (ID).
- van Beukering P, Schaafsma PJH, Davies MO, Oskolokaite I. 2008. *The economic value of peatland resources within the Central Kalimantan Peatland Project in Indonesia*. Perceptions of local communities. Amsterdam (NL): Institute for Environmental Studies.
- Wahyunto, Nugroho K, Ritung S, Sulaeman Y. 2014. Indonesian peatland map: method, certainty, and uses. In *Proceeding Lokakarya Kajian dan Sebaran Gambut di Indonesia* (pp. 81–96).
- Wibowo C, Slamet SA. 2017. Keanekaragaman Makrofauna Tanah pada berbagai Tipe Tegakan di Areal Bekas Tambang Silika di Holcim Educational Forest, Sukabumi, Jawa Barat. *Jurnal Silvikultur Tropika*. 8(1): 26–34.
- Widyasari NA, Saharjo BH, Solichin, Istomo. 2010. Pendugaan biomassa dan potensi karbon terikat di atas permukaan tanah pada hutan rawa gambut di su. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 15(1): 41–49.
- Wosten JHM, Clymans E, Page SEE, Rieley JOO, Limin SHH, Wösten JHM, Limin SHH. 2008. Peat-water interrelationships in a tropical peatland ecosystem in Southeast Asia. *Catena*. 73(2): 212–224. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.07>

010

Yulianti R, Marsono D, Yunianto T. 2009. Analisis Vegetasi Hutan Rawa Gambut Pascakebakaran di Wilayah Desa Sebangau dan Desa Taruna Jaya. *Majalah Geografi Indonesia*. 24(1): 54–62.

Zhang X, Liu H, Baker C, Graham S. 2012. Restoration

approaches used for degraded peatlands in Ruogai (Zoige), Tibetan Plateau, China, for sustainable land management. *Ecological Engineering*. 38(1): 86–92. [https://doi.org/ 10.1016/j.ecoleng.2011.09.004](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.09.004)